



D-8446

671.24
016

ESCOLA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE ING. MECANICA

" ESTUDIO DEL PROCESO DE MOLDEO
DE PRECISION"
(MICROFUSION)

TESIS DE GRADO

Previa a la obtencion del Titulo de:

INGENIERO MECANICO

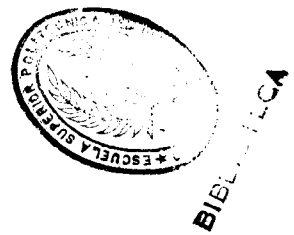
Presentada por:

GUIDO OCHOA MORENO

1987

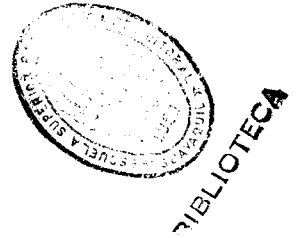
Guayaquil - Ecuador

AGRADECIMIENTO



Al Ing. Ignacio Wiesner
Director de Tesis, por su
colaboración en la
realización de este trabajo.
A los compañeros del taller
por su ayuda.

DEDICATORIA



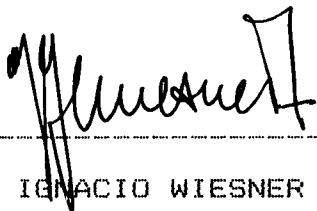
A LA MEMORIA DE MI PADRE

A MI MADRE

A MIS HERMANOS,

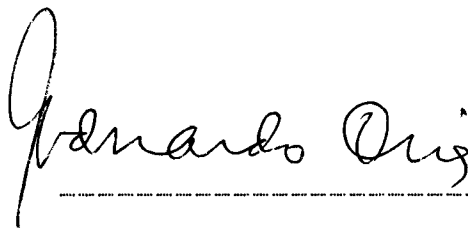
especialmente NORA

A KAREN



ING. IGNACIO WIESNER F.

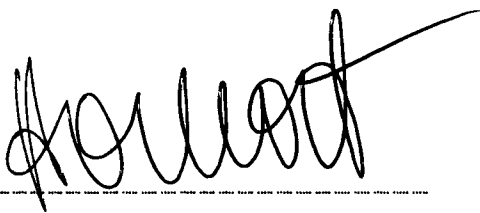
DIRECTOR DE TESIS



ING. EDUARDO ORCES P.

DECANO DE LA FACULTAD

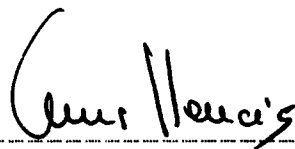
DE INGENIERIA MECANICA



ING. HOMERO ORTIZ A.

PROFESOR - MIEMBRO

DEL TRIBUNAL



ING. ALBERTO TORRES V.

PROFESOR - MIEMBRO

DEL TRIBUNAL

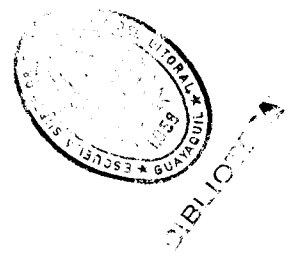
DECLARACION EXPRESA

" La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, corresponden exclusivamente a su autor, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado corresponderá a la Escuela Superior Politécnica del Litoral."

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL.)



SR. GUIDO OCHOA MORENO



RESUMEN

La Microfusión es un proceso de fundición mediante el cual se obtienen piezas, que se consideran listas para el uso sin necesidad de maquinado. Se pueden fabricar piezas de forma complicada imposibles de obtener con fundición tradicional.

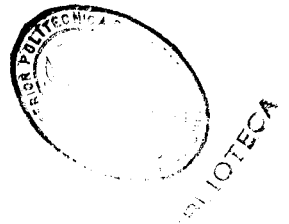
Sucintamente, el proceso tecnológico comprende los siguientes pasos: construcción de un modelo positivo en cera, revestimiento cerámico del modelo para conformar una capa de aproximadamente 9 mm. de espesor, éste conjunto se somete al calor derritiendo el modelo de cera y obteniendo un molde negativo. Finalmente se cuela el metal en este molde negativo, obteniendo la pieza requerida.

El objetivo principal de éste trabajo es: la investigación de materiales para la formación del molde y el procedimiento de formación de éste. El dominio tecnológico de esta parte del proceso de microfusión permitirá investigar los otros pasos del método hasta lograr un cuerpo tecnológico acabado.

La aplicación de esta tecnología en el país generaría desarrollo en la artesanía, pequeña industria y mediana industria. Generaría nuevas líneas de producción, partes y

VII

maquinaria que actualmente se importa, por tanto crea puestos de trabajo y ahorro de divisas.

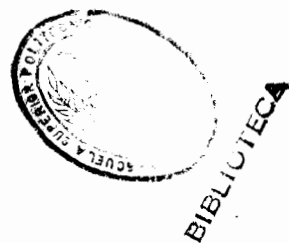


INDICE GENERAL

	pág.
RESUMEN.....	VII
INDICE GENERAL	VIII
INDICE DE FIGURAS	X
INDICE DE TABLAS	XI
INDICE DE ABREVIATURAS	XII
INTRODUCCION	13
1. CONSIDERACIONES GENERALES	14
1.1 Historia de su desarrollo	14
1.2 Descripción técnica	19
1.3 Aspectos sociales de la aplicación en el país.	28
1.4 Aspectos económicos de la aplicación el país .	29
2. MARCO TEORICO	30
2.1 Procedimiento a investigarse	30
2.2 Formulación de pinturas refractarias.....	31
2.3 Análisis de materiales y función en la pintura refractaria	33
2.4 Fórmulas para el revestimiento del molde	46
3. EXPERIMENTACION DE TECNICAS Y MATERIALES	48
3.1 Metodología de la experimentación	48
3.2 Selección de materiales	50
3.3 Pruebas de pinturas	50
3.4 Preparación de pintura seleccionada	55
3.5 Procedimiento de pintado	60
3.6 Mezclas para la formación del molde	63

IX

3.7 Procedimiento de formación del molde	64
3.8 Propiedades mecánicas del molde	66
3.9 Desencerado	70
3.10 Sinterizado	70
3.11 Ensayo de fusión	71
3.12 Normas	73
4. DISCUSION DE RESULTADOS	76
4.1 Análisis de resultados	76
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
BIBLIOGRAFIA	86



INDICE DE FIGURAS

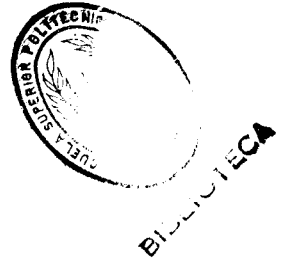
	pág.
Pieza producida por la cultura Sinú.....	16
Simil del proceso usado en la época Precolombina	17
Procedimiento artesanal de piezas por microfusión	20
Procedimiento artesanal de piezas por microfusión	21
Método de moldeo básico de microfusión	25
Método de moldeo en cáscara de microfusión.....	27
Acción de los electrolitos en la barbotina	40
Secado de la arcilla.....	42
Cambio estructural del silicio por el calor....	46
Diagrama de flujo de la técnica experimental...	49
Modelos de prueba.....	51
Mezclador.....	56
Viscosímetro	57
Diagrama de flujo de formación del molde	65
Molde para probetas de contracción y tracción..	69
Molde de ensayo	74
Probetas coladas para pruebas	75
Estructuras de los moldes cerámicos	81
Estructura del molde elaborado.....	82

INDICE DE TABLAS

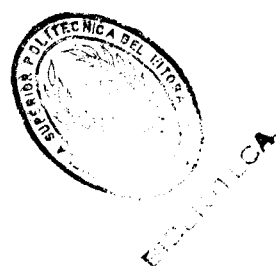
#		pág.
I	Fórmulas para pinturas refractarias.....	32
II	Fórmulas para los revestimientos del molde.....	47
III	Medidas de contracción de la barbotina	67
IV	Resistencia a la tracción de la barbotina.....	68

INDICE DE ABREVIATURAS

α	Estado estructural de la sílice
β	Estado estructural de la sílice
$^{\circ}\text{C}$	Temperatura en grados centígrados
cm.	Centímetros
gr.	Gramos
Kg.	Kilogramos
l.	Litros
mm.	Milímetros
PH.	Acidez de una substancia
%	Porcentaje
μ	Micras



INTRODUCCION



El procedimiento de microfusión pretende obtener piezas fundidas, que no tengan que someterse a maquinado posterior. Esto implica que se tenga un control sobre las dimensiones finales de la pieza fundida así como de su acabado superficial. Estos requerimientos se obtienen con moldes cerámicos.

El desarrollo y estudio de estos moldes es el objetivo de este trabajo.

Para satisfacer este objetivo se desarrollarán los siguientes pasos: Selección de materias primas existentes en el mercado, formulación y prueba de pinturas refractarias, formulación y prueba de mezclas para la formación del molde, estas mezclas se probarán en moldes contruidos por métodos manuales a escala de laboratorio. Luego se realizarán ensayos de colado y según los resultados obtenidos se calificarán las materias primas y el procedimiento seguido.

Los instrumentos y maquinaria necesarios para llevar adelante el proceso, en su mayoría existen en el laboratorio de metalurgia y el taller de fundición, quedando para construir una mezcladora y un viscosímetro.

CAPITULO I

1.0 CONSIDERACIONES GENERALES

1.1 HISTORIA DE SU DESARROLLO

El uso del procedimiento de fundición por microfusión también conocido como fundición a la cera perdida para la fabricación de diversos objetos es tan antigua como el mismo origen de la fusión de metales. Las piezas más antiguas que se conocen, fabricadas por este procedimiento, datan del 4 000 a.c. y provienen del Asia Menor. Mil años después esta técnica fue utilizada por la mayoría de civilizaciones del antiguo mundo, China, Egipto, Grecia, Los Escitas, etc.

La figura 1.0 es una muestra patente de la perfección técnica lograda y la riqueza cultural y artística plasmada con este procedimiento constituyendo un legado a la posteridad.

En América del Sur las piezas más antiguas obtenidas por este procedimiento datan del 800 a.c. ubicándose geográficamente en los actuales territorios de Colombia y Ecuador. Los objetos encontrados son de una complejidad técnica excelente en el moldeo y las aleaciones usadas. Se encuentran piezas huecas de paredes delgadas, obtenidas por el uso de un núcleo interior o noyo. Los Sinú habitantes del actual Colombia fabricaron matrices de piedra y madera, obteniendo modelos en serie para la correspondiente fabricación de piezas. La figura 2.0 muestra un símil del procedimiento usado inferido por vestigios arqueológicos.

Este procedimiento estuvo vigente y en desarrollo hasta la llegada de los conquistadores, a raíz de lo que no solo la escasez de materia prima para el uso de los metalurgistas sino también la desaparición de técnicos y científicos indígenas, en la barbarie y salvajismo de las mitas, obrajes y otros asuntos propios de la conquista aniquilaron casi completamente esta tecnología.

Durante el Medievo en Europa se vuelve a utilizar esta técnica aplicándola principalmente en obras artísticas.



BIBLIOTECA

Figura 1.0 Colgante Sinú, pieza precolombina de oro
(Fuente, El Oro de Colombia -Banco del Pacifico)



BIBLIOTECA

FIGURA 2.0: En las dos primeras fotos se construye el modelo con cera de abeja. Luego se pinta con arcilla semiliquida, se recubre totalmente con arcilla más sólida y después de algunos días de secado se desencera. Finalmente se cuele y obtiene la pieza. (Fuente: El Oro de Colombia -Banco del Pacífico-).

Benvenuto Cellini relata la fabricación en todas sus etapas de su célebre obra Perseo(1548-49).

Andrés Eschtülter crea la grandiosa estatua ecuestre, El Gran Elector emplazada frente al palacio de Charlottenburg, Berlín. En la construcción del modelo se utilizaron 483 Kg. de cera amarilla y la estatua fue fundida en una sola pieza.

Existe gran cantidad de otro tipo de piezas también en joyería, bisutería, relojería.

La utilización artesanal moderna de fundición a la cera perdida es relativamente reciente, llega a nuestra época por el trabajo de los dentistas. Adaptando este método a escala industrial con similares materiales y aleaciones se fundieron en los Estados Unidos durante la última guerra, grandes cantidades de álabes de turbinas para turbo propulsores. Una modificación posterior de técnicas y materiales utilizados ha permitido el actual desarrollo de este versátil y ventajoso método de fundición.

Actualmente en el Ecuador no se conoce el uso de este procedimiento en la industria. De las investigaciones realizadas resalta una excepción que, si bien no puede considerarse de interés industrial sin

embargo es una constancia viviente de cómo se utilizó esta tecnología. En la Península de Santa Elena, (Venezuela) de Chanduy el Señor Andrés Rodríguez y su esposa Señora Carmen Borbor, utilizan esta tecnología transmitida por sus familiares por lo menos hace cuatro generaciones. Para la confección de los moldes utilizan como materia prima cera de abejas que es modelada a mano y en el caso de pequeñas series utilizan matrices de madera. El recubrimiento del molde con cera se realiza con arcilla mezclada con fibra vegetal proveniente del excremento del ganado. Este molde de barro se deja secar por algunos días, se desencera y se quema quedando entonces listo para ser colado con metal.

En la fusión del metal no se utilizan procedimientos modernos de antaño. Funden en crisoles de arcilla y plombarios fabricados por ellos y utilizan una fragua con carbón vegetal. La figura 3.0 muestra parte del proceso descrito.

1.2 DESCRIPCION TECNICA

Para un cabal conocimiento de la técnica de microfusión se describe una línea de producción moderna y los diferentes procesos involucrados.



FIGURA 3.0: En la foto superior se observa la construcción de modelos y en la inferior el recubrimiento con lodo.

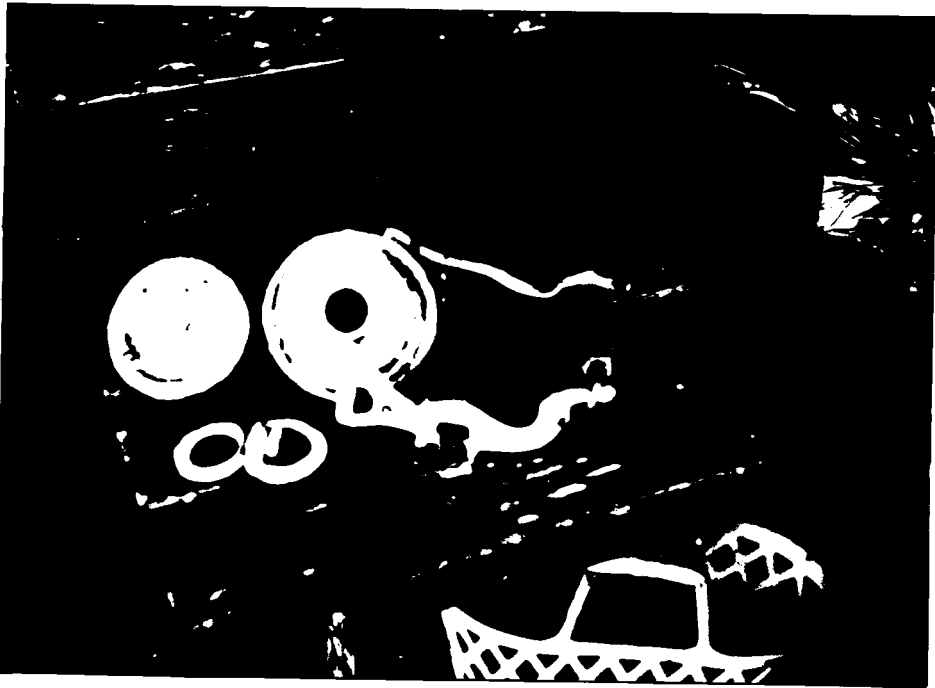


FIGURA 4.0: Arriba se observa el desencerado y quema del molde . Abajo se ven algunas piezas terminadas.

Inicialmente se construye un molde matriz para los modelos de cera, dichos moldes deben contemplar el porcentaje de contracción de la cera que afecta las dimensiones finales del modelo de cera.

La fabricación de los modelos de cera se realiza en máquinas inyectoras que insuflan la cera en la matriz en estado pastoso y mantienen la presión algunos segundos para evitar en lo posible la contracción del modelo. Se enfría el molde por algunos minutos y se extrae el modelo de cera. La cera utilizada es una mezcla de ceras vegetales, minerales y productos plastificantes. Las propiedades deseadas en estas mezclas son: poca contracción de solidificación, buena elasticidad, elevada resistencia y al quemarse no dejar residuos apreciables.

La figura 5.0 resume en forma simplificada las distintas acciones que implica el método. Estos procedimientos y los descritos posteriormente pueden ser total o parcialmente automatizados.

Los modelos se revisan y desbarban si es menester y finalmente se montan en racimos también llamados árboles, en este montaje se utiliza la técnica de unión por fusión utilizando como herramienta un cuchillo

caliente (figura 5.0). El número de piezas en este arreglo depende del tamaño, diseño y procedimiento de colado del molde, verbigracia con un proceso de colado por centrifugación se llena fácilmente un molde con 2000 piezas de 50 gr. cada una.

El árbol así formado es cubierto con una capa refractaria de grano fino que se deposita por inmersión, vibrado o pintado por proyección. Esta pintura está constituida por polvo refractario (malla 200 - 350) que puede ser cuarcita, sillimanita, óxidos de aluminio o zirconio, etc. y un aglomerante como silicatos de sodio, de potasio o de etilo por ejemplo. Esta primera capa debe ser uniforme y compacta debido a que formará la capa interna del molde y determinará el grado de acabado superficial de la pieza fundida. Se completa este primer procedimiento espolvoreando arena de sílice (malla 50) lo que asegura una buena unión con el material de recubrimiento posterior del molde. En este punto se pueden proceder de dos formas diferentes para la formación del molde: el método básico y el de moldeo en cáscara. Con uno cualquiera de los dos procedimientos el resultado que se obtiene es similar.

El método básico utiliza un cilindro de acero que se fija a una placa base sobre la cual se coloca el árbol. En la siguiente operación se llena el cilindro con una

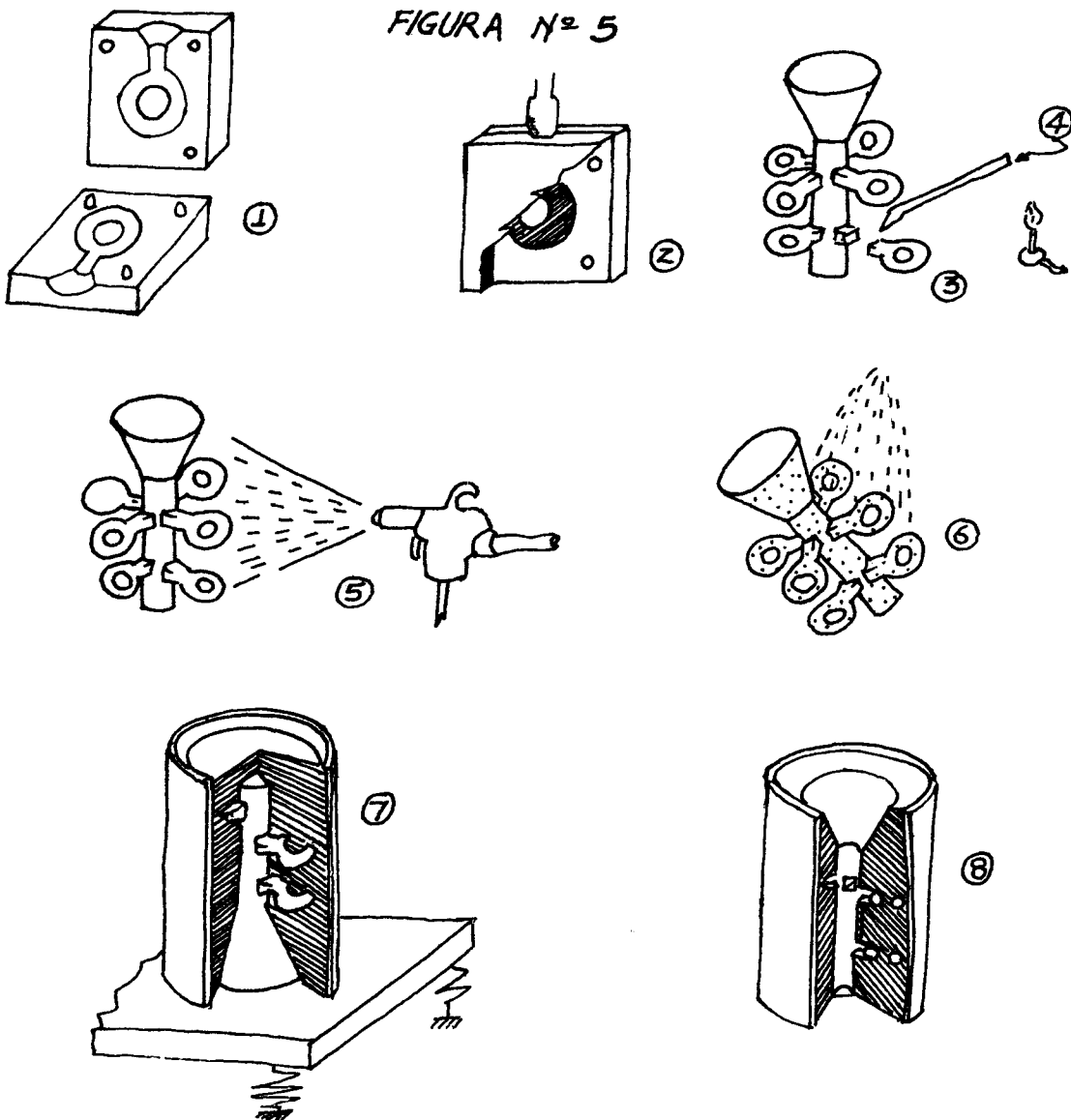
masa de relleno por vibración continua. El relleno es una mezcla de arena gruesa de sílice y aglomerante, su propósito fundamental es conferir estabilidad a la primera capa, cuando se desencere, además ayuda a soportar la presión metalostática durante el colado, figura 5.0 .

A continuación los moldes son llevados a un horno de secado y en cuanto estén lo suficientemente duros se eleva la temperatura del horno para el desencerado de los moldes, la cera recuperada que se conduce fuera del horno alcanza hasta un 60% y es reciclada otra vez.

Finalmente los moldes son sometidos a una sinterización en hornos cuya temperatura fluctúa entre los 900- 1200 °C obteniendo mayor resistencia y quemando al mismo tiempo los residuos de cera que quedaren.

Antes del colado se deja enfriar los moldes entre los 900 - 600 °C dependiendo del tamaño de la pieza y la aleación utilizada. La temperatura del molde nunca debe bajar de los 600 °C pues a 580 °C se presenta un cambio estructural en el cuarzo que contiene el molde, determinando un cambio volumétrico que fisura e inutiliza el molde. Anotemos que el colado en molde caliente proporciona ventajas microestructurales y

FIGURA N° 5



1.- MOLDE DE MODELO

2.- INYECCION

3.- ENSAMBLADO

4.- CUCHILLO CALIENTE

5.- PINTADO

6.- BAÑO DE ESTUCO

7.- VIBRADO

8.- MOLDE DESENCERADO

METODO BASICO

permite un fácil control de los defectos de solidificación.

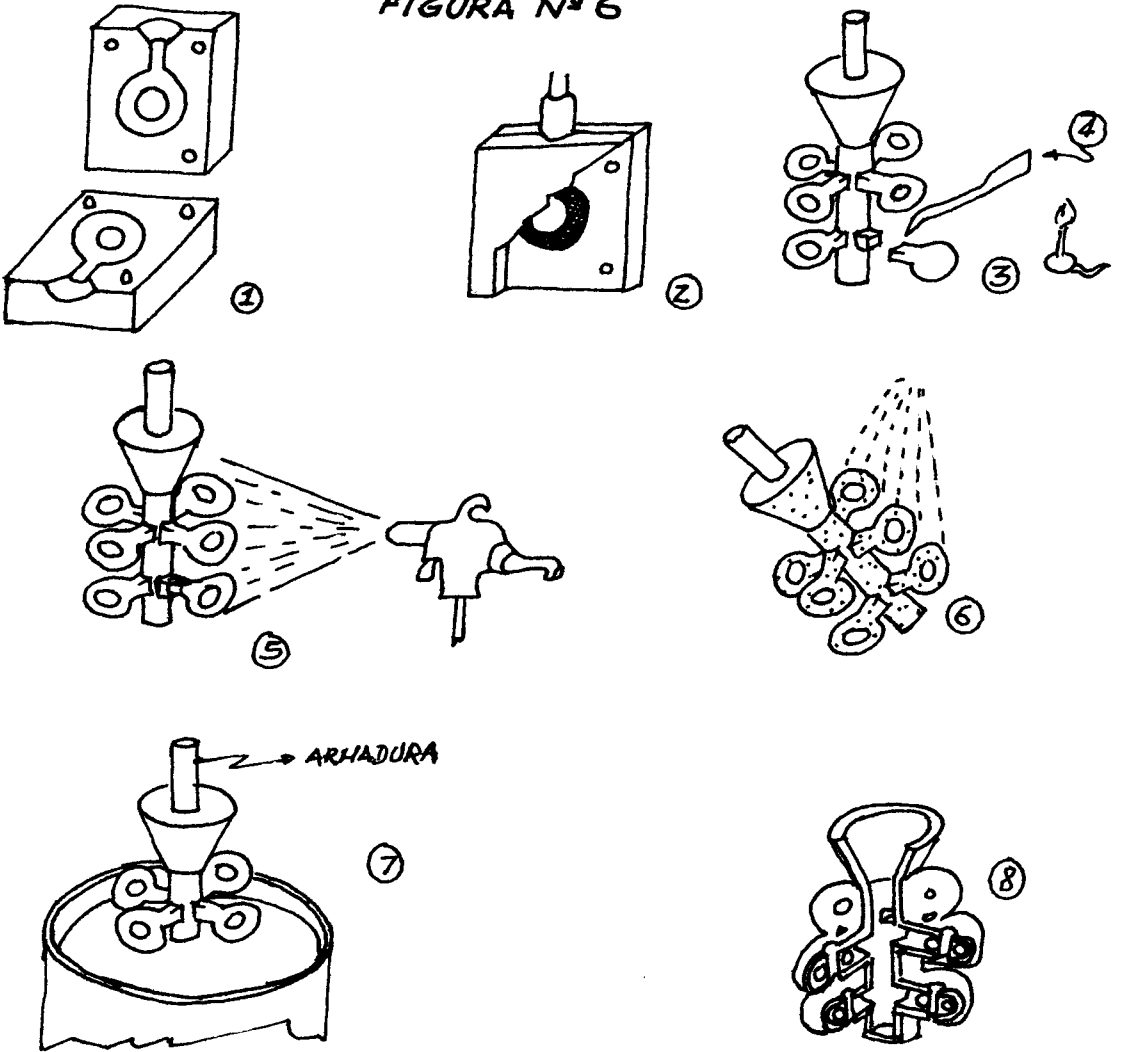
El segundo método de moldeo en cáscara o "playcast" tiene el siguiente procedimiento; el modelo pintado se introduce sucesivamente en mezclas de arena de sílice y aglomerante con distintas densidades pero siempre líquidas, esto permite la deposición de capas continuas sobre el modelo.

Se monta el molde en armaduras que permiten manejarlo con facilidad cuando se introduce en los tanques que contienen las mezclas figura 6.0 . Debe permitirse que el exceso de mezcla se escurra luego de la inmersión. Después de la inmersión y escurrido se coloca el árbol en una cascada de partículas refractarias que permiten una mejor adherencia de la siguiente capa.

Esta secuencia se repite hasta que la cáscara tenga aproximadamente unos 9 mm. Una vez seco el revestimiento los moldes son sometidos al desencerado en autoclave, obteniéndose un reciclaje del 70% de la cera. Luego estos moldes son sinterizados y colados como en el caso anterior.

Finalizada la colada las piezas son limpiadas, se cortan los canales del molde y arreglan imperfecciones.

FIGURA Nº 6



1.- MOLDE DE MODELO

2.- INYECCION

3.- ENSAMBLADO

4.- CUCHILLO CALIENTE

5.- PINTADO

6.- BAÑO DE ESTUCO

7.- INMERSION

8.- MOLDE DESENCERADO

MOLDEO EN CASCARA

Se realiza un control de calidad en cuanto a sus dimensiones, propiedades mecánicas y acabado superficial, quedando listas entonces para ser usadas.

1.3 ASPECTOS SOCIALES DE LA APLICACION EN EL PAIS

La aplicación tecnológica del procedimiento de fundición a la cera perdida en un contexto social dado creará beneficios propios de un movimiento de asimilación tecnológica en dicha sociedad. Es de hacer notar que todo juicio sobre un futuro beneficio para la sociedad en conjunto no puede preveer el contexto ideológico y económico en que se aplicará esta tecnología, factores que determinan el tipo de resultado que se logre.

En otro aspecto, con los métodos tradicionales de fundición es difícil lograr piezas acabadas o de formas complicadas, rotores de bombas por ejemplo. La solución de estos problemas involucran tiempo y dinero lo que imposibilita la competencia ventajosa con productos importados.

Con el proceso de cera perdida se solucionan estos problemas y se logran piezas imposibles de fabricar por otras técnicas. Estas consideraciones permiten crear nuevas líneas de producción en la industria, y

artesania, esto crea nuevas fuentes de trabajo y debe abaratar costos de los productos fabricados con respecto a similares importados.

1.4 ASPECTOS ECONOMICOS DE LA APLICACION EN EL PAIS

Considerando el nivel macroeconómico, el beneficio de la aplicación del proceso tratado principalmente significaría ahorro de divisas para el país, evitando importaciones de partes de todo tipo de maquinaria, herramientas de diferente tipo, moldes de inyección, etc.

Ahorro que no sólo se generaría por la fabricación de piezas de fundición, antes no logradas a costos aceptables sino que, también genera ahorro en importaciones de productos acabados. Si tenemos el rotor de una bomba podemos construir ésta en todas sus partes, aprovechando la capacidad instalada de la industria metalmeccánica del País.

CAPITULO II

2.0 MARCO TEORICO

2.1 PROCEDIMIENTO A INVESTIGARSE.

Todo el procedimiento de Microfusión se puede separar en cuatro partes bien definidas, por las diferentes operaciones realizadas así:

Primero fabricación del modelo: que involucra construir la matriz, inyección de la cera, desmolde del modelo y ensamblado del árbol. Segundo el pintado y fabricación del molde cerámico. La tercera operación constituye el decencerado del molde por medios químicos o calor. Finalmente la conchura del molde y el colado.

Cada una de estas partes involucra una serie de investigaciones teóricas y prácticas, que permitan dominar el conjunto tecnológico entre los límites de

principal importancia a saber: exactitud dimensional y acabado superficial de la pieza. La parte medular del proceso que permite formar un cuerpo tecnológico acabado, es la fabricación del molde ya que permite la comprobación de las hipótesis o corrección de las mismas empíricamente. Dicho de otra forma, sin conocer el mecanismo de formación del molde es imposible conocer los asertos de las investigaciones en los otros aspectos de la tecnología. Siendo el primer trabajo de investigación sobre el tema, la formación del molde se constituye en objetivo principal de esta tesis.

Como ya se explicó, después de pintado el molde se puede proceder de dos maneras para la conformación del molde: el método básico y el moldeo en cáscara, siendo el último el procedimiento que se investigará.

2.2 FORMULACION DE PINTURAS REFRACTARIAS

Existen diferencias básicas en los componentes de las pinturas refractarias, principalmente por el tipo de aleación que se ha de colar. De la bibliografía consultada se destacan los tipos más importantes, los que, se indican en la tabla I.

TABLA I

FORMULAS DE PINTURAS REFRACTARIAS

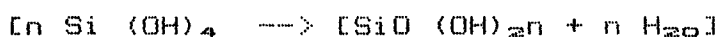
#	Material	Cantidad	USOS
1	Sílice	67%	
		Tetraethyl silicato, 8 partes por volumen. Agua, 1 parte por volumen	M E T A
	Líquido	Alcohol etílico 1-2 partes por volumen. Acido clorhídrico, de 1-2 % de una solución al 3 %	L E S
		---^---	DE
2	Sólidos	187 partes 94 partes, sílice malla 325 56 partes, alúmina malla 325 37 partes, sílice malla 40	A L T O
	Líquidos	80 partes 4 partes, silicato de sodio 20 Bé 1 parte, alcohol polivinílico al 2 %	P U N T O
3	Sólidos	1464.4 gr. 3 partes de caolín 17 de harina de sílice malla 140	DE F U S
	Líquidos	800 ml 37,6% de silicato de etilo 40 59.8% alcohol normal 190 2.6% ácido clorhídrico al 3%	I O N
4	Sólidos	5% de sílice malla 200	
	Líquidos	95 % de barbotina 100 partes, arcilla malla 400 40 partes, agua .022 partes carbonato de sodio .3 partes silicato de sodio	

Tomado parcialmente de K. Geist y R. M. Kerr, Jr.

2.3 ANALISIS DE MATERIALES Y FUNCION EN LA PINTURA REFRACTARIA

Si se analiza en conjunto las recetas antes mencionadas, se obtendrá una visión global de los materiales que requiere una pintura refractaria. En todas las fórmulas hay siempre dos elementos; en primer lugar polvo refractario, constituido por sílice, óxidos metálicos o una mezcla de los dos, dependiente del tipo de metal a colarse. En segundo término, un aglomerante mineral u orgánico que provee la unión a los granos de refractario y estabiliza la pintura. Este es el aspecto global: una fase refractaria y un ligante de la misma.

Los cementantes más usados son los silicatos, los que en una reacción química producen silicatos cementantes. De los diferentes tipos de reacciones que se presentan nos interesa la siguiente: Definida como enlace de precipitación, el silicato precipitado es un gel obtenido de una suspensión coloidal por un cambio en la concentración de los iones de enlace, su formulación general se expresa así:

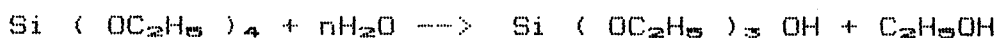


Un ejemplo es el silicato de sodio precipitado por ésteres o la interacción de alúmina coloidal con sílice coloidal; otro ejemplo es la precipitación de silicato de etilo por hidrólisis con el hidróxido de amonio.

Estos silicatos cementantes proporcionan los enlaces cerámicos a las partículas refractarias. Los más usados son: silicato de etilo, silicato de sodio, silicato de potasio, sílice coloidal, y sus principales aspectos son:

El silicato de etilo existe en dos formas: Silicato etílico condensado que es una mezcla de ortosilicato tetraetílico y polisilicatos con un 28% de sílice y el silicato etílico 40 que es una mezcla de polisilicatos o polímeros de silicatos ramificados con un 40% de sílice aproximadamente.

Los dos tipos anotados deben hidrolizarse para funcionar como ligamento en presencia de un ácido y un solvente mutuo. El silicato de etilo se hidroliza con agua para formar ácido silícico y alcohol. La hidrólisis es un simple reemplazo de los grupos (OC_2H_5) por el grupo (OH) . La reacción simplificada es:



La presencia de un solvente mutuo como el alcohol es necesaria para proveer miscibilidad entre el silicato etílico y el agua. El ácido se agrega para aumentar la velocidad de la reacción.

El siguiente cementante en orden de importancia es la sílice coloidal con un tamaño de partícula de cuatro a cuarenta milimicras. La discusión será limitada a los sílices coloidales suspendidos en agua. La estabilidad de los sílices coloidales está determinada por la carga superficial, el PH, el tamaño de partícula, la concentración y el contenido de electrolito. La carga puede ser negativa o positiva, dependiendo del sol y se incrementa con el PH. El PH determina el comportamiento del sol; así entre 3 y 10 las partículas se vuelven menos cargadas y tienen oportunidad de unirse unas con otras separándose del agua, los iones del agua catalizan esta pérdida de carga y con un PH 5 el coloide gelifica rápidamente.

La formación de una solución estable alrededor de un PH. 10 y la posterior formación de un gel por secado al aire permite el uso del sílice coloidal como cementante, un limitante de importancia para el uso es el tiempo de secado al aire.

Finalmente los silicatos alcalinos, silicatos de sodio

y potasio pueden endurecer para formar enlaces por precipitación, esto se produce por la reacción con ácidos o ésteres. Así como el silicato de etilo y la sílice coloidal, los silicatos alcalinos también son sensibles al cambio de PH. y forman geles silíceos con propiedades adhesivas por la variación del mismo.

Otro cementante - de capital importancia para éste estudio- es una suspensión coloidal de arcilla en agua comunmente llamada "barbotina" usado en la industria cerámica. Se estudian sus características a través de las propiedades de la arcilla.

La naturaleza mineralógica de las arcillas es la siguiente: las rocas básicas a partir de las cuales se han formado las arcillas son aluminosilicatos complejos que por envejecimiento han hidrolizado los iones alcalinos y alcalinotérreos formando sales solubles que son lixivisadas; el resto se constituye de aluminosilicatos hidratados de estructura y composición variable y sílice libre. Este proceso determina una ganancia con respecto a la roca madre en refractariedad. Los silicatos de aluminio hidratados son los que comunican a la arcilla sus propiedades más importantes.

Existen diferentes criterios para clasificar las arcillas que consideran aspectos geológicos, mineralógicos, o por el uso o propiedades. Enumeremos las arcillas más importantes: Caolin, Arcillas Grasas (Ball Clays), Arcillas de Gres, Arcillas Refractarias (Fire Clays), arcillas ricas en Alúmina, Bentonita, Arcillas de ladrillo y Loess.

El estudio de las arcillas es extenso en todos sus aspectos, por lo que se circunscribirá el estudio a lo indispensable para éste trabajo. Las propiedades más importantes de las arcillas son: adsorción, tixotropía, plasticidad, permeabilidad, y aspectos tecnológicos como comportamiento al secado, resistencia en fresco y cochura.

FENOMENO DE ADSORCION DE LOS COLOIDES

El fenómeno de adsorción de los coloides consiste en que; Las diminutas partículas minerales de arcilla exhiben propiedades coloidales, producto de la naturaleza cargada de su superficie. Gran parte de las propiedades cerámicas de las arcillas dependen del fenómeno de la superficie cargada de las partículas. Dos son las causas principales para la presencia de estas cargas: primera, enlaces rotos debido a la subdivisión del cristal gigante; segunda, cargas

residuales debidas a desordenamiento estructural provocado por presencia de iones de valencia incorrecta.

La primera causa no es cuantitativamente determinante. En cambio la segunda sí, y se produce por sustituciones isomorfas de aluminio Al^{3+} por SiO^{4+} y Mg^{2+} por Al^{3+} lo que origina una carga negativa. A medida que disminuye el tamaño de partícula crece la importancia de estas fuerzas de superficie y llega un punto en el que son predominantes y no se ven afectadas por fuerzas derivadas de la masa de las partículas, en este momento las partículas exhiben propiedades coloidales y de ellas depende las propiedades de la arcilla considerada en su totalidad.

FLOCULACION Y DESFLOCULACION

Estas dos importantes propiedades tienen las siguientes características:

Toda partícula cargada tenderá a adsorber otras partículas cargadas, usualmente iones a fin de neutralizar la carga. Las partículas cargadas se consideran usualmente en contacto con el agua con o sin materia ionizada disuelta.

Generalmente las partículas de arcilla están cargadas negativamente y adsorben cationes directamente. La disposición de los cationes en la envoltura de agua que rodea las partículas de arcilla depende de su tamaño, carga y agua de hidratación y todo ello altera el campo

eléctrico que rodea las partículas (Figura 7.0) La distancia, contada desde la partícula, a la cual se anula el campo eléctrico de ésta para una concentración dada de cationes está regida por el tamaño y la carga de dichos cationes. Los iones pequeños pueden disponerse alrededor más próximos que los de gran tamaño y neutralizar así el campo más cerca de la superficie. De modo semejante los cationes de gran carga se requieren en menor número que los de carga pequeña y pueden disponerse en un espacio más reducido. Por lo tanto el tipo de catión puede influir notablemente en la importancia relativa de las dos fuerzas opuestas que actúan sobre la partícula de arcilla.

1.- Una fuerza mutua de atracción ligada a la densidad, pero que debido a su pequeñísimo tamaño actúan solamente cuando las partículas están muy próximas unas de otras.

2.- Una fuerza de repulsión debida a la carga negativa de cada partícula.

De acuerdo con éstas, si dos partículas en una suspensión de arcilla se aproximan una a otra, se repelen a no ser que puedan acercarse lo suficiente para que predomine la fuerza atractiva. Si los iones de carga opuesta son grandes, por ejemplo, Na^+ y K^+ , se produce la repulsión y puede lograrse una suspensión estable (DESFLOCULACION). Si los iones oponentes son pequeños y/o altamente cargados, por ejemplo Al^{3+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , se produce la aglomeración (FLOCULACION). A continuación se dan los efectos relativos de los principales cationes.

Li^+ Na^+
DESFLOCULANTES

K^+ Rb^+ NH_4^+ Cs^+
INTERMEDIOS

Ca^{2+} Mg^{2+} Zn^{2+} Cu^{2+} Fe^{3+} Al^{3+} H^+
FLOCULANTES



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE VERACRUZ

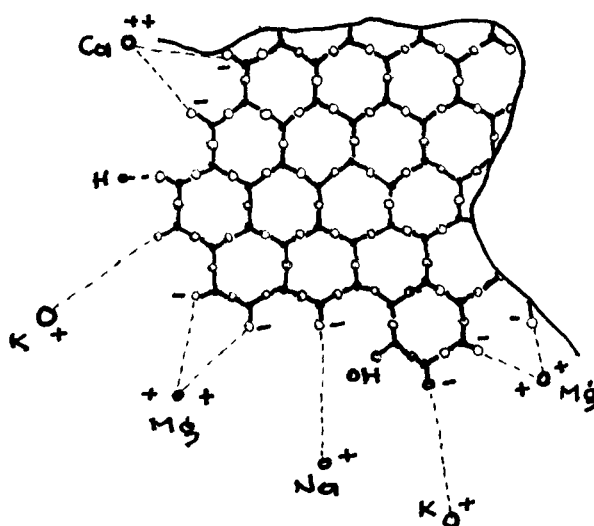


FIGURA 7: Acción de los electrolitos.

(Fuente, Ceramica Industrial tomo I F. Singer,
S. Singer)

VISCOSIDAD

Las propiedades de flujo de las arcillas o mejor dicho de las mezclas de arcilla-agua dependen de la naturaleza de las arcillas y la adición de iones al agua. La mayoría de éstas mezclas presentan un flujo plástico y cuando se añade desfloculantes se acerca más a un flujo newtoniano que pasa por el origen, aunque su comportamiento no es lineal.

TIXOTROPIA

La Tixotropía es otra característica que presentan las mezclas de arcilla, agua y productos químicos. Consiste en un comportamiento de flujo dependiente de períodos anteriores de reposo o movimiento, que producen que el fluido adquiera rigidez y se convierta en un gel, sin separarse en dos capas, que sin embargo por agitación vuelven a su estado original.

SECADO DE LA ARCILLA

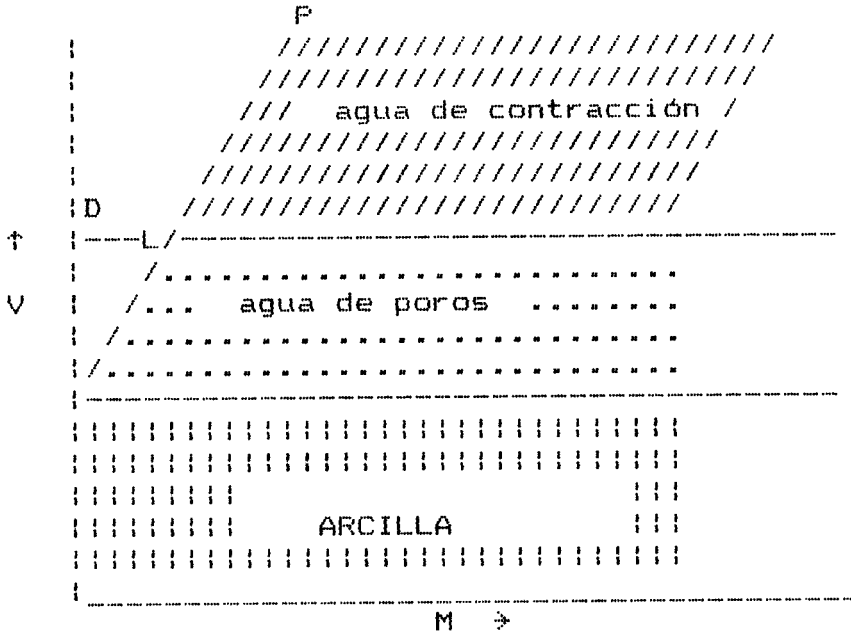
El proceso de secado de la arcilla se realiza de la siguiente manera:

Al aire la arcilla húmeda cede agua gradualmente, al principio a velocidad constante y posteriormente a velocidad decreciente, hasta que ya no contiene agua libre. Durante el período de velocidad constante la superficie tiene siempre la misma humedad y se produce una contracción en toda la pieza. Después de esto la superficie empieza a aparecer seca y la evaporación tiene lugar dentro de la pieza, produciéndose poca o ninguna contracción.

En la figura 8.0 se ve como una pieza de volumen inicial, contenido de agua P se contrae al principio en una cantidad igual al volumen de agua desprendido, hasta el punto L. En este punto la arcilla se encuentra en condición parcialmente seca. Una ulterior reducción en el contenido de humedad da lugar a un tramo recto con poco o ningún cambio de volumen hasta la sequedad, punto D. La explicación generalmente aceptada es que mientras se está evaporando el agua que realmente separa las partículas se produce la contracción hasta que éstas están en contacto. Después de ello se

pierde el agua de los poros y no se produce contracción.

FIGURA 8.0 Secado de la barbotina.



V= volumen de total de la pieza que contiene 100 gramos de arcilla seca.

M= contenido de humedad % (gr. o cm³ de agua/100 gr. de arcilla seca).

RESISTENCIA EN FRESCO

La resistencia en fresco es la propiedad de la arcilla seca de mantenerse unida. Depende de la atracción electrostática entre las partículas coloidales de arcilla, que aumentan al eliminarse la película de agua que las separa. Por tanto es fundamental que las partículas de arcilla estén

distribuidas uniformemente alrededor de los componentes no plásticos como el cuarzo.

COCHURA

Finalmente analizaremos la cochura que es el endurecimiento que se produce en la arcilla cuando es calentada fuertemente. Endurecimiento que es una reacción irreversible provocada por un calentamiento progresivo de la arcilla seca que desprende más agua y poco a poco forma una pieza dura y porosa. Después se produce la vitrificación que conduce a una pieza muy dura, eventualmente con reblandecimiento y fusión. Durante estas reacciones puede producirse una expansión, aunque, por lo general sucede una contracción.

Durante la conchura se producen reacciones entre la arcilla y otros materiales no plásticos como el feldespato y el cuarzo, que configuran un comportamiento específico de la pieza durante la conchura y las propiedades resultantes finales.

La temperatura de cocción y el tiempo de ésta dependen del tipo de arcilla y el porcentaje y calidad de los materiales no plásticos. La temperatura fluctúa entre los 900-1100 °C.

Otro grupo de componentes de la pintura, son los polvos refractarios:

Existen diversidad de ellos y su elección está determinada por el tipo de material a colarse. Ya que la interfase metal-molde y su reactividad dependen; de la temperatura de colado, la composición química del metal, por un lado, y la composición química y refractariedad del molde por otro. En todo caso se pretende que las reacciones en esta interfase sean mínimas. Los principales refractarios utilizados son los listados a continuación. Se estudia únicamente la sílice por ser el refractario que se dispone.

- Zircón.
- Sílice.
- Mullita y arcilla refractaria.
- Alúmina.



BIBLIOTECA

SILICIO

El Silicio se presenta en la naturaleza en variadas formas: cuarzo, arena de sílice, pedernal, diatomita, etc. es un material de buena refractariedad, abundante y de fácil manejo, sus aspectos más relevantes son:

que funde formando un vidrio a una temperatura mucho más baja, la sílice tiende a disolverse en éste último. La velocidad a la que ocurre esto está determinada no solo por el tamaño de partícula sino por la estructura fina de las propias partículas. Así un cuarzo cuya estructura esté interrumpida por inclusión de impurezas, especialmente mica, o por las condiciones de su cristalización, se disolverá y reaccionará más fácilmente que una arena de cuarzo pura.

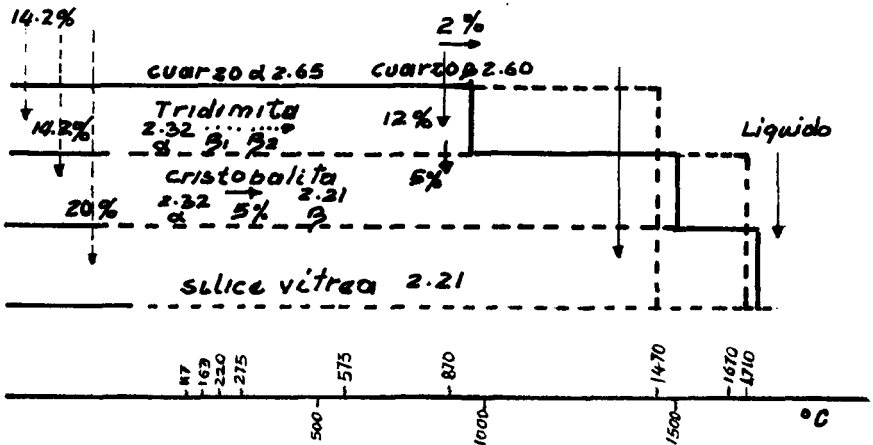


FIGURA 9.0 Cambios estructurales producidos en la sílice por el calor (Tomado de Cerámica Industrial F. Singer, S. Singer)

2.4 FORMULAS PARA EL REVESTIMIENTO DEL MOLDE

Generalmente toda mezcla está formada con gran cantidad de arena de sílice como refractario. El cementante puede ser cualquiera de los descritos como ligantes de la pintura refractaria, sin embargo, es posible crear

otras alternativas siempre que respondan a los aspectos principales que debe tener un molde: resistencia a los esfuerzos (producidos en el desencerado), soportar las operaciones de manipuleo, endurecer sin fisuras en la cochura y soportar la presión metalostática en el colado. Se ha usado incluso cemento portland, en una proporción del 15% con éste fin. En la tabla II se describen algunas fórmulas para los revestimientos del molde.

TABLA II

N	Refractario	Agua	Cementante	Uso
1	95% arena silícea	27-31%	5% cemento de alúmina ***	T o d
2	arena silícea	3% o más de Silicáto de sodio o silicáto de etilo ***	o T i
3	91.2% arena silícea	33.8%	6.5% de fosfato de calcio primario 2.3% MgO malla 300 ***	p o
4	93.3% arena silícea	34.1%	5.17% amonio fosfato primario	

Tomado de K. Geist y R. M. Kerr Jr.



CAPITULO III

3.0 EXPERIMENTACION DE TECNICAS Y MATERIALES

3.1 METODOLOGIA DE LA EXPERIMENTACION

El objetivo principal de este trabajo es producir un molde para microfusión. El método de formación del molde es de moldeo por cáscara de material refractario y, se utilizará materiales de producción nacional existentes en el mercado.

En la figura 10.0 se establece mediante un diagrama de bloques la técnica operativa a seguir en la experimentación. La construcción de los moldes es posible realizarla a pequeña escala en laboratorio, de forma manual; permitiendo esto ensayar los diferentes niveles de experimentación establecidos en el diagrama de bloques.

TECNICA OPERATIVA

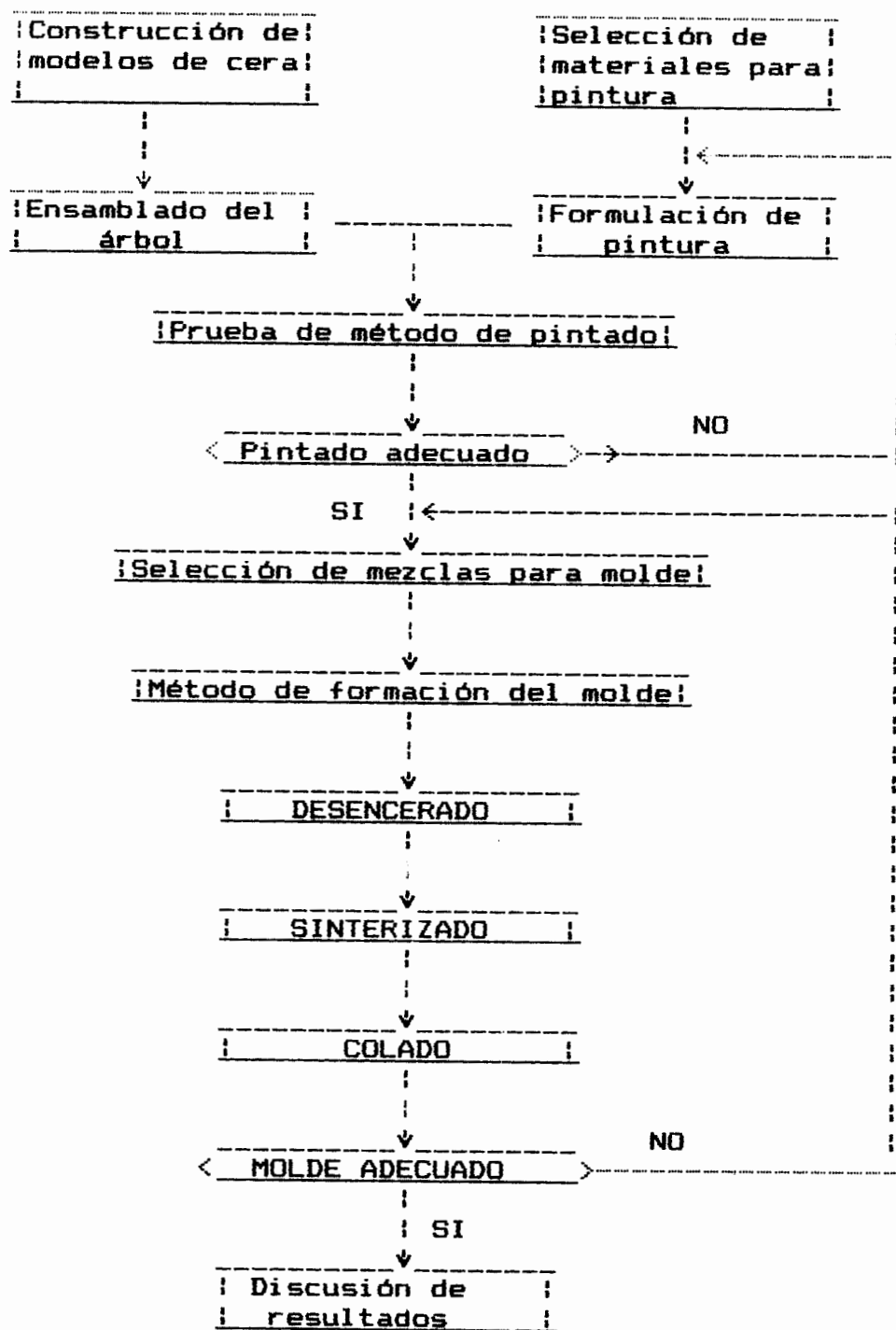


FIGURA 10.0 Pasos a seguirse en la investigación.

3.2 SELECCION DE MATERIALES

Con fines experimentales se dispone de todos los materiales necesarios para tal experimento. En cambio, si investigamos una técnica capaz de utilizarse en el país, se evidencia una limitación - la falta de proveedores de materia prima-. Esta limitación es determinante para la selección de materiales.

Los productos existentes en el mercado útiles para la investigación son: Cemento blanco, cemento gris, cemento refractario de alúmina, arcilla para barbotina y yeso.

Los silicatos usualmente utilizados en este proceso, no se incluyen debido a que el silicato de etilo no existe en el mercado. El silicato de sodio existe pero, no así los reactivos complementarios.

El material refractario existente es la arena de sílice.

3.3 PRUEBA DE PINTURAS REFRACTARIAS

MEZCLAS ENSAYADAS

Fueron revestidos modelos de cera cuyas medidas se

puede observar en la figura 11.0. El espesor del revestimiento es 5 mm. y se usó arena de sílice malla 50 como estuco para espolvorear cada capa de pintura. Finalmente se desecó y sometió las probetas a una temperatura de 600 °C

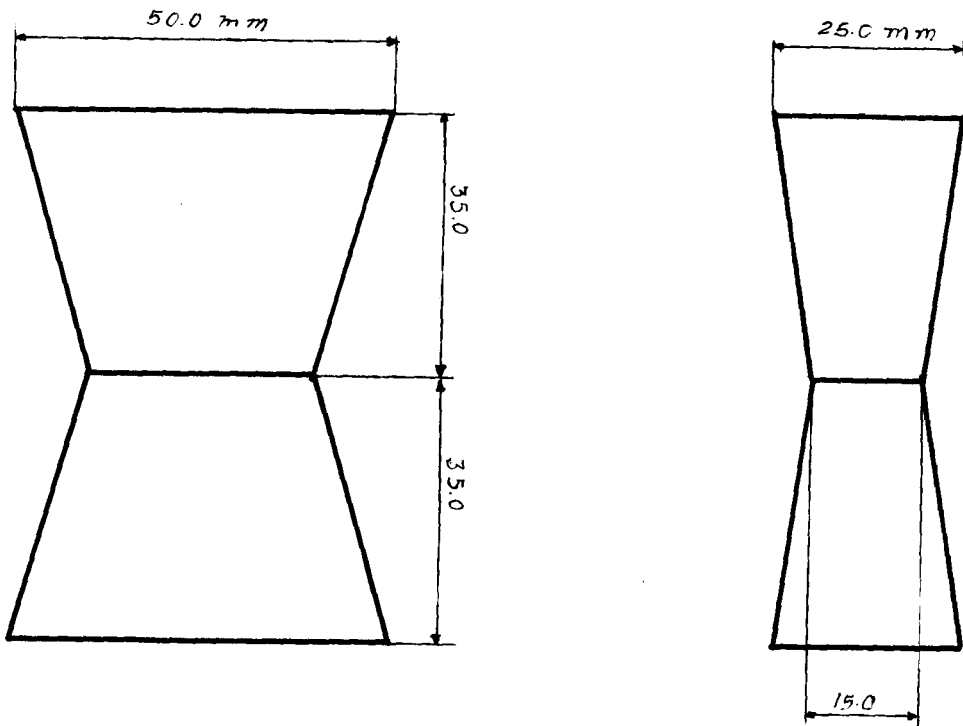


FIGURA 11.0 Modelos de prueba.

Las fórmulas de los revestimientos y los resultados experimentales son los siguientes:

PRUEBA #1.

Fórmula:

Cemento Blanco100 partes
 agua 30 partes

OBSERVACIONES: No se formó una suspensión estable, es necesaria una agitación continua para mantener la mezcla . Moja difícilmente el modelo de cera lo que complica el proceso de pintado. El tiempo de secado de cada capa por inmersión es la tercera parte de lo que tarda en fraguar toda la mezcla. La mezcla fragua en presencia de agua debido a que el cemento tiene propiedades de fraguado hidráulico, esto determina un bajo rendimiento en el pintado del modelo.

PRUEBA # 2

Fórmula:

Cemento refractario de Alúmina.....100 partes
 Agua 30 partes

OBSERVACIONES: La alúmina del cemento tiene mayor peso específico que los otros componentes por lo que se sedimenta y hace la mezcla inestable, aún con agitación continua. Esto descarta el uso de este ligante para formar pinturas refractarias.

PRUEBA # 3

Fórmula:

Cemento Portland	100 partes
Agua.....	30 partes

OBSERVACIONES: Forma una suspensión estable, fácilmente moja el modelo permitiendo una adecuada deposición de pintura. El único inconveniente que presenta es el fraguado hidráulico de la mezcla, determinando un bajo rendimiento en el pintado.

PRUEBA # 4

Fórmula:

Yeso.....	100 partes
Agua.....	140 partes

OBSERVACIONES: La mezcla es estable y se adhiere

fácilmente al modelo. El inconveniente con esta pintura es su rápido fraguado por lo que resulta impracticable para este procedimiento.

PRUEBA # 5

Fórmula:

Barbotina.....100 partes
 Arena de sílice..... 5 partes

OBSERVACIONES: Es una pintura estable, presenta pequeños inconvenientes en el pintado que no son irresolubles. La suspensión no fragua en el recipiente pudiendo conservarse más allá del tiempo necesario para formar un molde, en tanto que el recubrimiento endurece fácilmente al aire.

OBSERVACIONES EN EL SECADO Y LA COCHURA

Las probetas pintadas con las mezclas ensayadas se sometieron a secado para ver su comportamiento, todas manifestaron ausencia de fisuras críticas debidas a la contracción de secado, en cambio en el desencerado se fisuraron no permitiendo un manipuleo adecuado, pero soportaron la erosión de la cera derretida

adecuadamente. Finalmente se sometió las probetas a una temperatura de 600 °C observando que únicamente la probeta de barbotina desarrolló resistencia en caliente, las otras por el contrario perdieron su cohesión estructural, tornándose inmanejables

SELECCION DE MATERIAL PARA LA PINTURA REFRACTARIA

Con esta serie de pruebas se estableció una selección preliminar con los siguientes criterios: comportamiento en el pintado del modelo, secado sin fisuras críticas (mayores que 5 x 1 mm), resistencia estructural a baja y alta temperatura. La probeta que resume mejor estas características es la elaborada con barbotina y por esta razón profundizaremos la investigación con este material.

3.4 PREPARACION DE PINTURA SELECCIONADA

Para la fabricación de la pintura se utilizó arcilla cuyo nombre comercial es "Pro Cast" que tiene una refractariedad equivalente de 04 - 06 cono Seger. Como desfloculantes se usó el silicato de sodio y el carbonato de sodio.

EQUIPO UTILIZADO

MEZCLADOR

Hélice mezcladora que desarrolla una velocidad de 3400 r.p.m. impulsada por un motor de 1.5 HP. (Figura 12.0)

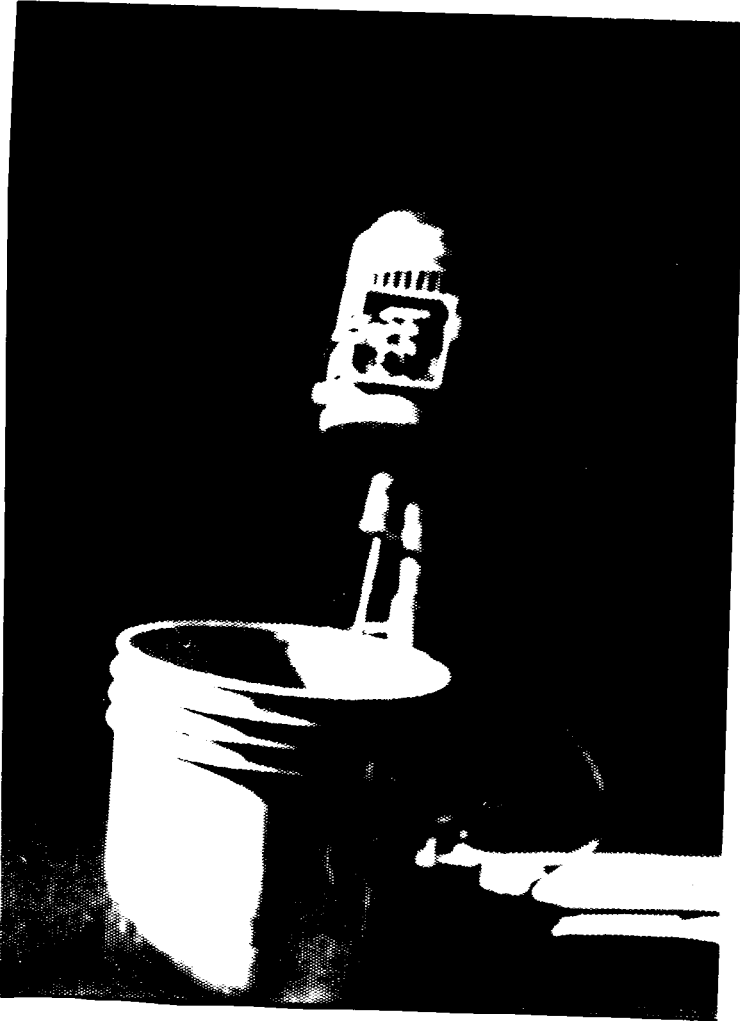


FIGURA 12.0 Mezclador



BIBLIOTECA

VISCOSIMETRO

Un viscosímetro casero, construido con un tubo plástico de 5.08 cm. de diámetro interior y 25.4 cm. de alto, obturado por una placa perforada en uno de sus lados. La placa está perforada en el centro con un agujero de 8.0 mm. de diámetro. La figura 13.0 muestra un diagrama del viscosímetro. El principio en el que se basa éste viscosímetro es el sistema de medida de la viscosidad desarrollado por SayBolt, que partiendo de un volumen constante de líquido se observa el tiempo de paso del mismo a través de un agujero y, determina así la viscosidad. Para usar el viscosímetro se tapa el agujero de la placa inferior, se llena el tubo del viscosímetro al ras con barbotina; se mide el tiempo de vaciado de la barbotina a través del orificio y el número de segundos medidos es el valor de referencia de la viscosidad.

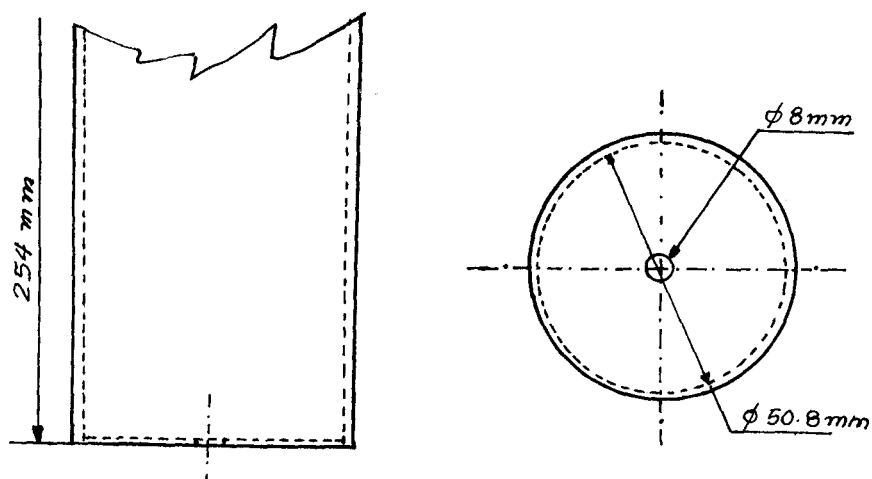


FIGURA 13.0 Viscosímetro

PROCEDIMIENTO DE MEZCLADO

El procedimiento con el que se obtuvo una barbotina adecuada se detalla a continuación y fue provisto por el fabricante de la arcilla, aunque no se siguió las recomendaciones precisas en cuanto al tiempo de mezclado dado ya que el equipo utilizado posee mayor intensidad de mezclado, así, un tiempo más corto de mezcla es posible. Esta decisión fue producto de una serie de pruebas preliminares.

FORMULA :

ARCILLA	100% en peso
AGUA	40 % en peso
CARBONATO DE SODIO	0.0022 % en peso
SILICATO DE SODIO	0.3 A 0.4 % en peso

Porcentaje con respecto al peso de la arcilla utilizada, 100 libras de arcilla producen aproximadamente 8.5 Gls. de barbotina.

1.- Se colocó el agua en la mezcladora, se agregó el carbonato de sodio, y agitó hasta la disolución completa.

2.- Se agregó el 10% del silicato de sodio y se esperó

su disolución.

3.- Se adicionó la cuarta parte de la arcilla y mezcló por 25 minutos.

4.- Cuando se mezcló, se agregó otra cuarta parte de arcilla gradualmente, es decir a medida que desaparecieron de la barbotina grumos o pedazos. Luego se comienza a mezclar la otra mitad de arcilla pudiendo ser necesario agregar otro 10% del silicato de sodio para fluidificar la mezcla y se mantiene esta condición, agregando poco a poco el silicato que sea necesario para que la suspensión esté en condiciones de viscosidad adecuada.

5.- La barbotina suficientemente mezclada no exhibe grumos. Entonces se ajusta la gravedad específica alrededor de 1496.5 gr./l., agregando agua.

6.- Después de alcanzada la gravedad específica, la viscosidad. se gradua por adición de silicato de sodio y debe estar comprendida entre 52 y 55 segundos medidos en el viscosímetro descrito anteriormente.

7.- La barbotina así preparada se deja reposar por un día para mejorar sus propiedades. Esto nos permite

además, observar su comportamiento tixotrópico.

OBSERVACIONES

Si la barbotina está muy viscosa, una pequeña cantidad de silicato de sodio la mejorará aunque el espesamiento puede deberse a un exceso de silicato; en ese caso, se agrega Sal común. Una barbotina con mucho silicato correrá fácilmente por las paredes del recipiente que la contiene.

Por otro lado cuando en reposo prolongado se forma una piel densa sobre la superficie, o la separación tixotrópica de la suspensión no se puede reconstituir por agitación moderada entonces, la barbotina está mal preparada. Es necesario, agitar vigorosamente antes de usar una barbotina dejada en reposo.

3.5 PROCEDIMIENTO DE PINTADO

PREPARACION DEL MODELO

Se observa el modelo y si presenta contaminación con grasas o desmoldantes, deben eliminarse con un baño de acetona o detergente.

Con este método se obtuvo un pintado del modelo de continuidad y fidelidad excelentes. Se evitó burbujas de aire y la pintura accedió a todos los lugares del modelo, por los resultados, obtenidos, el pintado por proyección es el procedimiento que se utilizará.

PASOS DEL PROCEDIMIENTO DE PINTADO

Para el pintado se procedió así: Inicialmente se sometió el modelo a un lavado con detergente para limpiar trazas de grasa o desmoldante. Luego se pintó el modelo exponiéndolo a la barbotina pulverizada por la pistola, hasta observar una capa homogénea que cubra el modelo, se esperó que caiga el exceso de pintura y se espolvoreó el modelo con arena de sílice malla 50. Se dejó secar esta capa de pintura hasta que los bordes superiores del molde sufrieron un cambio de coloración quedando blancos, el tiempo de espera fue de 10 minutos. A continuación se depositó dos capas más de pintura en la misma forma. Cuando estas capas se secaron a dureza de cuero¹ (aproximadamente 30 minutos) entonces

(1) " SECADO A DUREZA DE CUERO" frase utilizada por los ceramistas, para definir un estado en el cual la barbotina mantiene un estado plástico similar al de una pasta de arcilla. Por lo que puede ser manipulada sin daños

estuvo listo el modelo para aplicar la primera capa de las mezclas que formaran el molde.

3.6 MEZCLAS PARA LA FORMACION DEL MOLDE

Los mismos argumentos utilizados para la selección de materiales para la pintura, son válidos para las mezclas del molde. Se desarrolló dos tipos de revestimientos:

1.- Un revestimiento fluido constituido por:

BARBOTINA	100 % en peso
ARENA DE SILICE	80 % en peso

Con relación al peso de la barbotina.

2.- Un revestimiento de consistencia cremosa formulado:

BARBOTINA	100 % en peso
ARENA DE SILICE	120 a 140 % en peso
FIBRA DE CABUYA	5 % en peso

Los pesos de la silice y fibra son relacionados al peso de la barbotina.

El procedimiento de preparación fue: Se agregó la arena de silice paulatinamente a la barbotina (la arena no necesita ser tamizada), se mezcló completamente y luego se agregó la cabuya. Se optó por usar cabuya con una

tud comprendida entre 2 y 4 mm. para evitar el aglutinamiento de ésta en la mezcla. Estas mezclas se almacenaron en recipientes cerrados para evitar la evaporación de agua.

PROCEDIMIENTO DE FORMACION DEL MOLDE

El procedimiento se resume en la figura 14.0, que muestra las acciones necesarias para la construcción del molde. El desarrollo del procedimiento fue el siguiente:

El molde una vez pintado se sumergió en la mezcla de estuco (fórmula # 1) se dejó escurrir y se lo expuso a una cascada de arena de sílice. Se repitió este procedimiento por tres veces. El estuco es arena de sílice sin tamizar.

Después de sumergir el molde en la mezcla de consistencia media (fórmula # 2), se permitió escurrir el exceso de estuco y se espolvoreó con arena. Una vez que la capa aplicada se secó a dureza de cuero, se procedió a aplicar otras capas de la misma manera hasta obtener una máscara de 9 mm.

OBSERVACIONES

En los primeros moldes que se confeccionaron se presentó discontinuidad en la estructura del molde, debido a que una capa no se adhería con otra. La solución a este problema fue aplicar una nueva capa el momento en que la anterior todavía se mantenía húmeda, pero tenía la suficiente cohesión como para soportar el peso de la siguiente. Si la capa anterior no se encontraba lo suficientemente seca, la nueva capa se unía con ella formando una sola de mayor grosor que por su propio peso causaba corrimientos y pliegues que inutilizan el molde.

Para el secado de una capa a la dureza de cuero se esperó un tiempo promedio de 30 minutos. Sin embargo después de la tercera capa consecutiva se hizo necesario un tiempo de secado de 4 ó 5 horas para poder continuar con el revestimiento, esto debido a que el secado al ambiente es lento.

3.8 PROPIEDADES MECANICAS DEL MOLDE

Existe un buen número de propiedades mensurables en el molde, de todas esas variables se midieron dos que están vinculadas con los criterios de aceptación de un molde; éstas son: contracción y resistencia a la

tracción.

CONTRACCION

Para medir la contracción se fabricó un molde de yeso para colar discos de barbotina de 10 cm de diámetro con círculos concéntricos cada 2 cm. que permiten medir al contracción en el secado (Figura 15.0).

Las probetas se dejaron secar durante dos días y se calculó el promedio de contracción medido en todos los anillos concéntricos, los resultados se pueden apreciar en la tabla III

TABLA III

N	MEZCLA	PORCENTAJE PROMEDIO DE CONTRACCION
1	Barbotina sola	3.5 %
2	Barbotina + 7% de sílice malla 200	2.9 %
3	Barbotina + 3% de fibra	3.0 %
4	Barbotina + sílice + fibra	2.7 %

TABLA III Promedio de contracción de diferentes mezclas

La contracción se produce durante el secado y es una medida del agua que separa las partículas de arcilla. Durante la evaporación de agua de contracción, la pieza se contrae uniformemente hasta que las partículas se ponen en contacto.

RESISTENCIA A LA TRACCION

Se midió la resistencia a la tracción adoptando la probeta y prueba de tracción de machos en la máquina universal de ensayo de arenas, con la diferencia que el espesor de las probetas es aproximado a 9 mm. y son fabricadas por colado en un molde de yeso (Figura 15.0) Los resultados obtenidos se tabulan en la tabla IV

TABLA IV

Nº	MEZCLA	RESISTENCIA Lb/Pi ²
1	Barbotina + 5% arena de sílice	173
2	Barbotina + 7% arena de sílice	154
3	Barbotina + 9% arena de sílice	158
4	Mezcla 1 + 3% fibra vegetal	210
5	Mezcla 2 + 5% fibra vegetal	205
6	Mezcla 3 + 7% fibra vegetal	194

TABLA IV: Valores de resistencia a la tracción.

Los resultados de la resistencia a la tracción son lo suficientemente altos para soportar los diferentes manipuleos y tensiones provocadas en el desencerado, y se incrementan por la adición de fibra vegetal. En ninguna de las pruebas realizadas se produjo daño por operaciones de manipuleo de los moldes.

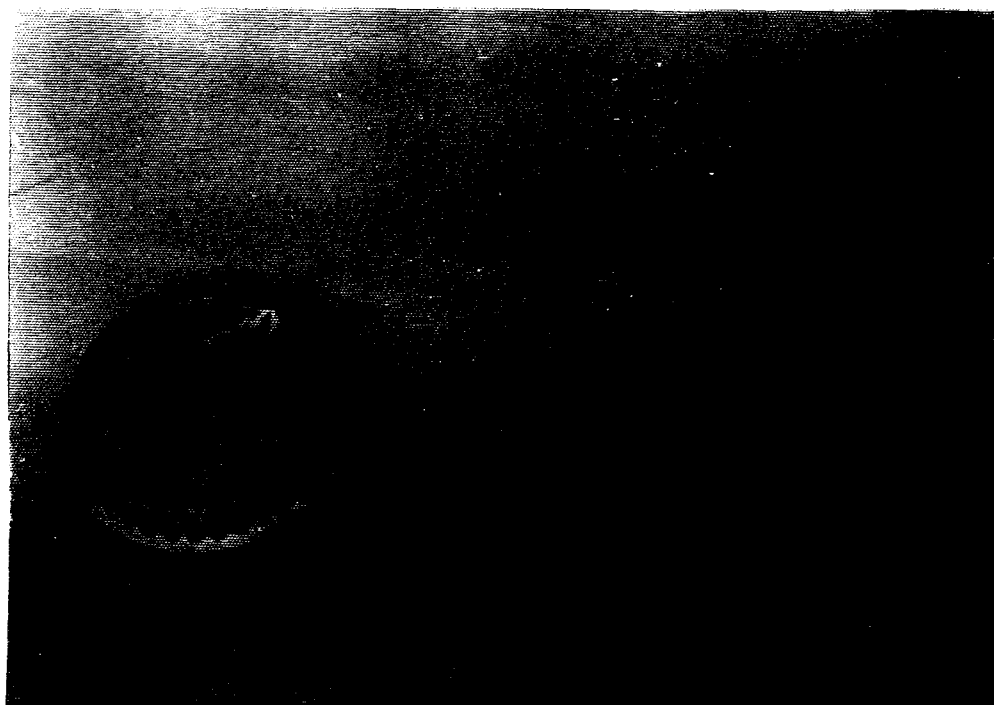


FIGURA 15.0 probetas para medir la contracción y la resistencia a la tracción.

3.9 DESENCERADO

Uno de los mayores problemas que se presentaron en el proceso, fue el fisuramiento del molde al momento de desencerar.

El desencerado se realizó fundiendo el modelo de cera por calor. Para minimizar el fisuramiento se usó el siguiente procedimiento:

Se calentó rápidamente el molde en su totalidad con un soplete de gas, logrando de esta manera derretir la cera que está en contacto con el molde, cera que al evacuarse dejó un espacio libre para que se produzca la expansión del modelo sin mucho peligro de fisuramiento del molde. Cuando se produjo fisuras, afloró cera en esos lugares del molde.

En la fase final de la experimentación se desenceró una serie de 24 moldes de distintos tamaños, logrando resultados satisfactorios pues pasaron el criterio de aceptación. (ver normas en la página 73).

3.10 SINTERIZADO

El sinterizado de los moldes se realizó en una fragua

de carbón vegetal, en la que el molde se tapó totalmente con el carbón. Se obtuvo los siguientes resultados aproximados:

Temperatura aproximada de sinterización a la que se sometió el molde: 800 °C

Tiempo en que se llegó a ésta temperatura: 40 minutos.

En esta parte del experimento no se logró medir exactamente la temperatura y el tiempo de sinterización, debido a que los hornos y termómetros no se encontraban en buen estado de funcionamiento. Sin embargo el cambio de coloración que se produce en la barbotina y el cambio de dureza, fueron los parámetros que permitieron una buena aproximación. Sabiendo además que la barbotina con que se trabaja presenta un rango de cochura entre lo 800 y 1200 °C. Este incremento de dureza es importante para las operaciones de colado, pues evita el rompimiento del molde por manipuleo o fallas en el mismo debidas a la presión metalostática.

3.11 ENSAYO DE COLADO

En las diferentes probetas se colaron los siguientes metales y estos fueron los resultados:

HIERRO

TEMPERATURA DEL METAL: 1300 °C

TEMPERATURA DEL MOLDE: 28 °C

RUGOSIDAD: 15 μ

RUGOSIDAD EN MOLDE DE ARENA: 35 μ

La interfase metal molde presentó una pequeña reacción, sin embargo comparado con las pinturas tradicionales es de buenos resultados.

COBRE

TEMPERATURA DEL METAL: 1200 °C

TEMPERATURA DEL MOLDE: 800 °C

RUGOSIDAD: 6 μ

RUGOSIDAD EN MOLDE DE ARENA: 20 μ

La interfase metal molde no presenta reacción

BRONCE

TEMPERATURA DEL METAL: 1100 °C

TEMPERATURA DEL MOLDE: 800 °C

RUGOSIDAD: 10 μ

RUGOSIDAD EN MOLDE DE ARENA: 25 μ

La interfase metal molde no presenta reacción.

La permeabilidad de los moldes no presentó problema y

la resistencia a la presión metalostática tampoco, pues las probetas fundidas no presentaron defectos en éste sentido. El acabado superficial no presenta incrustaciones de refractario, es continuo y tan fino como el correspondiente modelo. Existe un porcentaje menor al 2% de pequeñas vetas correspondientes al fisuramiento del molde en el desencerado.

En lo que toca a la exactitud dimensional nada se puede afirmar en este trabajo pues los moldes con los que se trabajó presentan muchas imperfecciones. En la figura 16.0 y 17.0 se puede observar las probetas de prueba y el molde de ensayo que se coló.

3.12 NORMAS

NORMAS DE ACEPTACION DEL PINTADO DEL MODELO

- Espesor: mayor o igual a 2 mm.
- Ausencia de fisuras cuando se deja secar totalmente la pintura.
- Desprendimiento ocasionado por arrastre de la cera en el desencerado: nulo.
- Posibilidad de diferenciar las capas de pintura, ninguna
- Cobertura del modelo: total

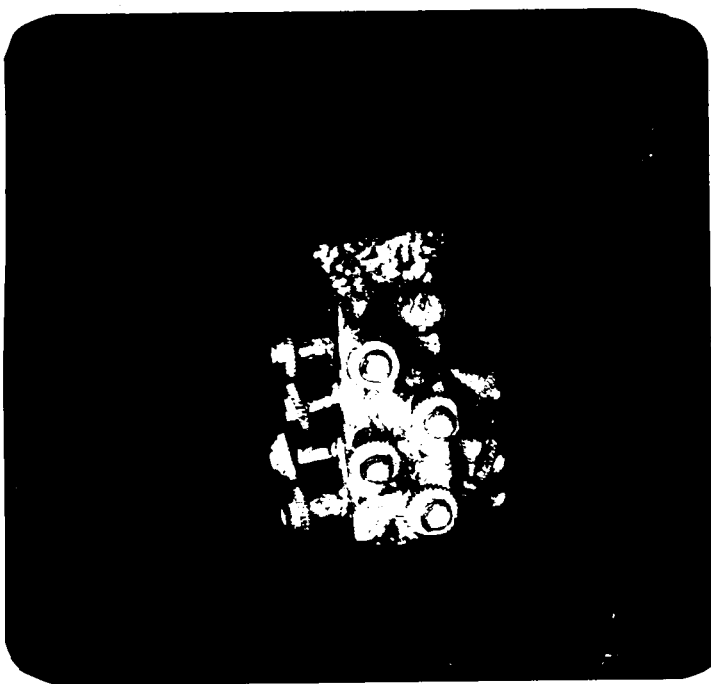
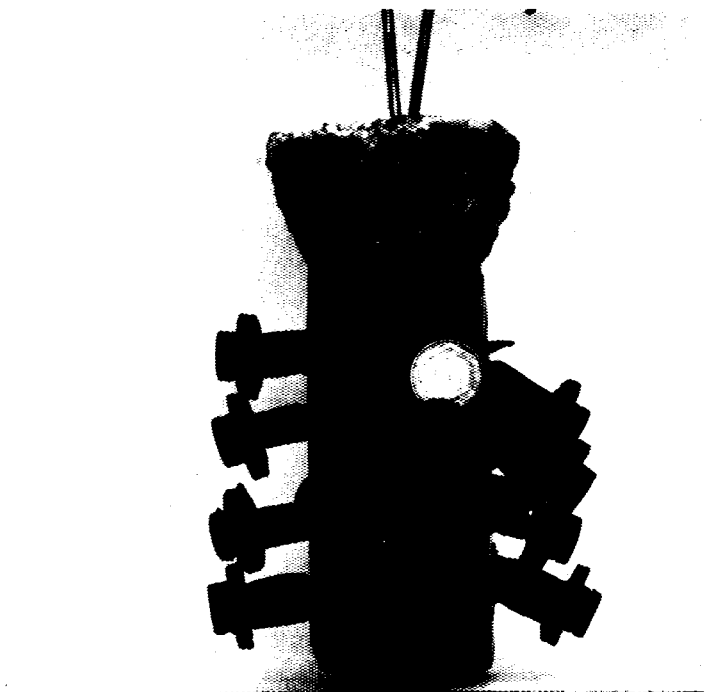


FIGURA 16.0: En la foto superior se muestra el modelo de cera y en la inferior la pieza colada.

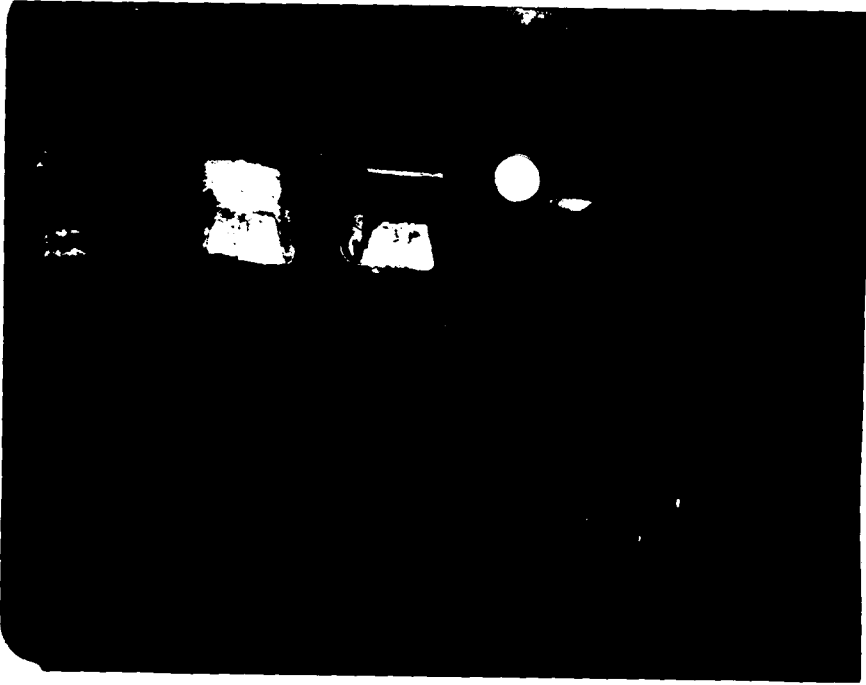


FIGURA 17.0: Piezas que se colaron en pruebas.

NORMAS DE ACEPTACION DEL MOLDE

- Espesor: mayor o igual que 9 mm.
- Corrimientos y/o pliegues, ninguno.
- Fisuras después del desencerado; menores iguales a 1 mm. (en el ancho)
 - Manejabilidad en verde y en caliente: sin desmoronamientos
- Estabilidad durante almacenamiento: sin cambios.

CAPITULO IV

4.0 DISCUSION DE RESULTADOS

4.1 ANALISIS DE RESULTADOS

La discusión de este trabajo está orientada a la calificación del proceso, con todas las adaptaciones propuestas, en la forma más general puesto que es el primer trabajo sobre el tema no fue posible llegar a caracterizarlo por completo, aunque los resultados obtenidos son alentadores ya que se puede observar las posibilidades técnicas del método y que su aplicación elevará el nivel tecnológico del sector.

El molde de prueba colado (Figura 16.0) demuestra que el molde cumple con las características fundamentales que califican un molde para fundición a la cera perdida entre estas las principales son:

En primer lugar, la pieza obtenida es un engranaje helicoidal de forma compleja. Pieza que fue obtenida sin ninguna dificultad por este método, y que no es posible de obtener por los métodos tradicionales de fundición, esto demuestra que no existen limitaciones en cuanto a reproducir formas complicadas mediante el método desarrollado para conformación del molde.

En segundo lugar, en cuanto a la exactitud dimensional, si bien el copiado y reproducción del original son muy aproximados, sin embargo en las dimensiones no se logra una variación estable en todas las piezas y no se pudo cuantificar exactamente este comportamiento debido principalmente a las siguientes razones: a) La cera con que se fabricó los modelos tiene una contracción volumétrica cercana al 12% y los modelos no fueron colados en idénticas condiciones de presión y temperatura; b) el molde en el que se llenaron los modelos no era rígido ni exacto, fue fabricado en silicón, lo que causa variaciones, que hacen los modelos desiguales; c) el proceso de sinterizado del molde no fue realizado en condiciones de temperatura controlada y por tanto no se logró una coadura uniforme, lo que es causa de variaciones volúmetricas distintas en diferentes partes del molde.

En tercer lugar, el grado de acabado superficial

comparado con los métodos tradicionales, en los mismos materiales utilizados en las pruebas de colado, establece claramente una diferencia de un 60% menor en el caso de los metales no ferrosos y un % en el caso califica el uso de la pieza sin necesidad de maquinado.

propiedades del molde obtenido que hagan óptimo el uso de este molde en microfusión, propiedades que son conocidas ya en el caso de los moldes de cerámica química. Los resultados recogidos sobre las propiedades del molde fabricado si bien no son exactas nos permitió manejar un nivel de referencia y en base a ellos su discusión.

La contracción se localiza alrededor del 3% valor suficiente para fisurar el molde en el secado, fisuramiento que no sucede por que los floculantes reaccionan en el aire y proporcionan a la barbotina una estructura adicional que soporta ésta contracción.

La resistencia en verde es importante en la medida que de ella depende que no se produzcan daños en el molde por manipuleo y que, las fisuras en el desencerado no sean causa de inutilidad o rompimiento del molde. La adición de fibra vegetal en la mezcla de formación del molde provee un aumento de resistencia (Tabla IV) superior al 30% y además esta fibra al quemarse produce otro doble efecto beneficioso que es; mejora la refractariedad y la porosidad del molde. Esta resistencia necesita aumentar o al menos mantenerse en caliente, aunque no se relizaron medidas cuantificadas de las propiedades del molde luego del sinterizado, los cambios registrados se pueden apreciar

a simple vista, así por ejemplo aumenta la resistencia del molde.

En cuanto a otras propiedades como superficie interior, copiado del modelo, espesor, capacidad de manipuleo, almacenaje, el molde presenta condiciones si no idénticas, sí muy similares a los moldes producidos por cerámica química figura 18.0.

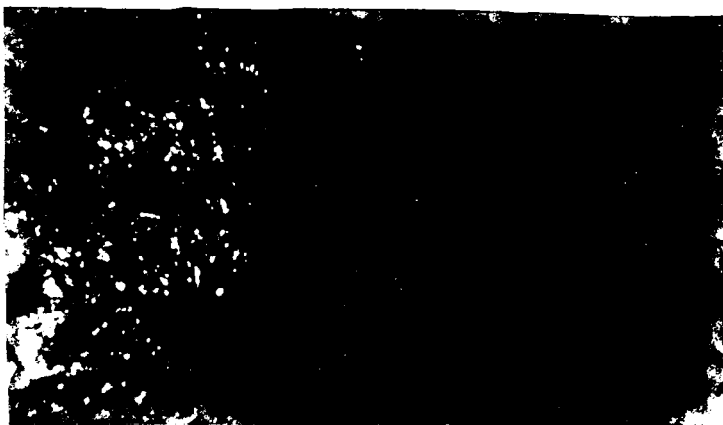
De todo lo anterior podemos colegir que el procedimiento desarrollado para la formación del molde calificado en función de los resultados obtenidos, se confirma como adecuado, comprendiendo que en el futuro debe continuarse y profundizarse la investigación.

Finalmente con los resultados vemos, que es posible utilizar cerámica industrial, para la fabricación de moldes de microfusión. La barbotina utilizada en la fabricación del molde se consigue en el mercado nacional, de ésta forma se ha cubierto el objetivo propuesto. Las condiciones experimentales en que se ha desarrollado el método de fabricación del molde para microfusión, demuestra la posibilidad de aplicar ésta tecnología a niveles de pequeña y mediana industria como también la artesanía, sin que sean indispensable grandes inversiones para la instalación y uso de la tecnología



32 X

FIGURA 18.0: En la foto superior se muestra la estructura de un molde de cerámica química. en la foto inferior se observa la estructura del molde confeccionado con barbotina.



32 X
FIGURA 19.0: En la foto superior se observa una sección del molde colado. En intermedia la superficie interna del molde después del colado. Y en la inferior la estructura del molde confeccionado con barbotina.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1.- El proceso propuesto sirve para fabricar piezas de alta complejidad metalúrgica, basada ésta en la precisión y los materiales.

2.- La aplicación del proceso produce beneficio económico al país, por cuanto se puede producir piezas que por métodos tradicionales no es posible fabricar.

3.- Es posible desarrollar el proceso de fundición a la cera perdida utilizando materia prima nacional.

4.- Se ha demostrado que es posible la utilización de la barbotina (cerámica industrial) en la fabricación de moldes cerámicos para el proceso de moldeo de precisión. Sustituyendo a los moldes de silicato de

de etilo (cerámica química).

5.- Debe investigarse más el comportamiento de los floculantes en el secado, para disminuir los tiempos de fabricación del molde.

RECOMENDACIONES

1.- El procedimiento no requiere de maquinaria complicada para llevarse acabo, por lo que, la transferencia tecnológica se puede realizar a varios niveles de la producción.

2.- Es importante implementar un laboratorio experimental de moldeo de precisión, que posibilite la cuantificación más exacta de las propiedades la caracterización general del molde.

3.- Se deben diseñar y construir máquinas experimentales, para la fabricación de modelos y los moldes en todas sus fases.

4.- Se debe investigar tanto en las fábricas de cerámica como en la industria química, la existencia de barbotinas nuevas o más refractarias en el primer caso y, en el segundo caso, la existencia de óxidos puros

que aumenten la refractariedad del molde.

5.- No se debe descuidar la línea de trabajo de la cerámica química, por lo que sería adecuado proponer un acción multidisciplinaria para el desarrollo de materias primas.

6.- Se debe seguir investigando mezclas de cera para la confección de modelos.

B I B L I O G R A F I A

1. E.D. Calvert, An Investment Mold for Titanium Casting (Unites Estates: Bureau of Mines)
2. V.A. Chernicov y V. P. Tolmachev, "Silicate in Lost Wax Process" pp. 2
3. Dittrich y Werner, " Procedimiento de Colada de Precisión con Moldes Cerámicos", Giesserei, #8 (1972), pp. 239 - 249.
4. E. de Gotari, Iniciación a la Lógica .(2da. edición; Grijalvo, 1975), pp. 227 - 276
5. K. A. Krekeler, Microfusión - Fundición en Molde Perdido, (1ra. edición; Barcelona: Gustavo Gil, 1983), pp. 5 - 16.
6. W.F. Wales,"Evaluation of Silicates Binders for Ceramic Mold Casting", AFS. Cast Metals Research Journal, (Marzo de 1971), pp. 7 - 12
- 7, W.F. Wales , "Ceramic Binders and Agregates for Precision Casting", AFS. Transactions , pp. 250 - 259.